новостройки первичного рынка недвижимости в престижных районах города публикуются в периодических изданиях.

Модель расчета стоимости отдельно взятой квартиры выглядит следующим образом:

$$Ск = См(max) * \sum a_i x_{ij} / \sum a_i x_{ij} max * S, \qquad (2)$$

где Ск – рыночная стоимость квартиры; См(max) – стоимость 1 $м^2$ на первичном рынке элитного жилья; a_i – весомость i-го фактора; x_{ij} – значимость критерия в баллах; S – общая площадь оцениваемой квартиры.

Эта модель позволяет рассчитать рыночную стоимость квартиры и учитывает: физические факторы; факторы месторасположения как относительно центра города, так и относительно центра микрорайона, а также других градообразующих составляющих, таких как расстояние до магистралей, вокзалов, торговых центров, остановок транспорта, и др.; инфляционные колебания; колебания на рынке недвижимости; соотношения факторов спроса и предложения на рынке недвижимости; индивидуальные особенностей каждой конкретной квартиры.

1.Закон Украины "Про Державний бюджет України на 2004 рік" // Голос України. – 2004.

2.Асаул А.М. Брыжань И.А Экономика недвижимости. – К.: Техніка, 2001. – 306 с.

3.Грязнова А.Г., Федотова М. А. и др. Оценка недвижимости – М.: Финансы и статистика, 2002. – 496 с.

4.Понизов С.Е. Экспертная оценка местоположения для выбора проекта реконструкции зданий // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.46. – К.: Техніка, 2002. – С.146-151.

Получено 31.03.2005

УДК 69.332.126 : 330.322

В.И.ТОРКАТЮК, д-р техн. наук, Н.М.ЗОЛОТОВА, В.Н.ТИМОШЕНКО, А.С.ВЫШЕТРАВСКАЯ, О.Б.ТРОЯНОВСКАЯ, Н.В.ДРИЛЬ, О.И.ЖИЛИНСКАЯ, А.В.ТУПИЦЫНА

Харьковская национальная академия городского хозяйства

И.А.ДМИТРУК, канд. техн. наук

Корпорация «Модернизация и развитие», г.Харьков

В.Т.КУЛИК, А.П.ДЕНИСЕНКО

АОЗТ «Спецстроймонтаж», г.Харьков

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВОЗВЕДЕНИЯ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ (на примере объектов машиностроения)

В современных условиях рыночных взаимоотношений для принятия оптимальных решений их множества альтернатив по возведению строительных объектов, которые во многом представляют сложные кибернетические системы, необходима разработка соответствующих моделей. Настоящая работа посвящена разработке научно-методических рекомендаций по формированию моделей процессов возведения объектов строительной отрасли.

Актуальность данной работы обусловлена тем, что активное изменение человеком окружающей среды приводит к созданию большого числа разнообразных инженерных структур, в том числе строительных, одной из которых является организационно-технологическая система по возведению комплексов энергоснабжения машиностроительных заводов. Каждую из них можно представить в виде трех типов независимых по характеру и критерию функционирования подсистем: разработки полуфабрикатов строительных материалов и их местоположении; подсистемы по необходимым зданиям и сооружениям, отвечающие социально-экономическим, градостроительным, объёмно-планировочным, архитектурно-конструктивным, технологическим параметрам; экологической подсистемы [9].

Чтобы обеспечить строительство определенного количества народнохозяйственных объектов с заданными характеристиками, при проектировании надо определить число и местоположение отдельных подсистем, их структуру, параметры и переменные каждой, необходимо проектирование управляемого строительства, т.е. в системы энергоснабжения машиностроительных заводов должны быть заложены различные активные и пассивные регуляторы, резервные источники модернизации, совершенствования и реконструкции.

Предпочтительнее более дешёвый вариант. Иными словами, проектирование сводится к выбору из множества допустимых вариантов оптимального по критерию стоимости (приведенных затрат), удовлетворяющему ряду перечисленных и нередко противоречивых требований, часть которых слабо поддается формальному описанию при принятии решений.

Существующие в настоящее время публикации по решению этих задач [1-3] не дают полного представления о моделировании сложных строительных систем, что не позволяет решать сложные экономические и организационно-технологические задачи, не соответствует современному состоянию строительной отрасли на пути трансформации в Европейские структуры [4] и требует своего неотлагательного решения.

В связи с этим целью настоящей работы является разработка научно обоснованных рекомендаций по совершенствованию процесса моделирования экономических параметров организационно-технологических процессов возведения объектов строительной отрасли на примере объектов машиностроения.

Для решения поставленной цели необходимо исходить из предпосылки, что принятие решений можно представить как совокупность следующих действий: формулировки проблемной ситуации и анализа информации о рассматриваемом явлении, постановки задачи, разработки возможных альтернатив (вариантов решений) и определения критериев выбора окончательного решения.

Практика функционирования сложных производственных систем [5, 6] и теоретические исследования в этой области [7, 8] дают основание констатировать, что наметилось шесть основных направлений процесса оптимизации экономических параметров организационно-технологических решений, которые основываются на следующих технико-экономических положениях:

1. Формально-логические предпосылки (технологические, нормированные, организационно-регламентированные).

2. Методы математической статистики, позволяющие установить связь между различными явлениями, определить складывающиеся тенденции, уяснить стабильность в меняющейся ситуации производства при формировании и оптимизации жизненного цикла создания продукции капитального строительства.

3. Методы исследования операций.

4. Эвристические методы.

5. Решения для негибких сред.

6. Комплекс непрограммных решений (обеспечение руководителей необходимым объемом информации).

Под оптимизацией принятия решений будем понимать выбор альтернативы или некоторого подмножества альтернатив, которые предпочтительны из определенного их множества с точки зрения выбранного критерия (критериев) оптимальности – качественного показателя оценки решения.

Обоснованность решения (выбор лучшего варианта) зависит от сложности проблемы, времени отведенного для его принятия, и от квалификации принимающих решение. Принятие решения может быть оптимизировано, если правильно осмыслены объективные структуры и параметры системы, т.е. иерархия задач, на основе которых мотивируется решение.

Математическая постановка, а тем более решение поставленных задач в таком виде достаточно сложно. Ведь на начальном этапе нет полной информации для выбора оптимального варианта, поскольку отсутствуют точные данные не только о возможной структуре объектов, но и об их местоположении в системе или подсистеме, не известны многие характеристики.

Поэтому под проектированием системы будем подразумевать выбор рационального, близкого к оптимальному, варианта. Он значительно упрощается при системном подходе. При этом проектирование детализируется по этапам или уровням: 1) определение (уточнение) функционального назначения объектов, их усредненных параметров или нагрузочных характеристик на основе обработки статистических данных с учетом перспективного развития; 2) выбор местоположения активных источников пополнения людскими ресурсами и сырьем на основании анализа демографических данных района, сырьевой базы, возможности добычи, обработки и условий подачи этого сырья; 3) надежность транспортных систем.

В результате анализа и реализации этих этапов можно намечать варианты возможных структур объектов. Процесс генерации множества таких структур должен вестись с учетом большого числа факторов, типичных для данного региона, что очень важно в условиях нашей страны, учитывая ее значительные размеры; температурные, влажностные, ветровые, геологические и другие особенности.

Параметрическая оптимизация заключается в выборе из возможных интенсивностей возведения, таких, которые обеспечили бы оптимальный ход строительства по созданию готовых конструктивных элементов, систем энергоснабжения при минимальных затратах.

На этом этапе выбираются средства комплексной механизации (активные источники).

Для повышения надежности комплексной механизации часть составляющих комплекта должна быть зарезервирована, а для определения управляемости по интенсивности в зависимости от конкретного состояния организационно-технологической системы надо предусмотреть возможность оперативного включения механизмов из смежных участков или их перевод на другие участки в процессе работы, а также возможность плавного регулирования режимов.

Проверка работоспособности организационно-технологической системы для различных производственных ситуаций, выполняется моделированием. Изучают функционирование организационно-технологического решения в нормальной обстановке, при изменении интенсивности потребления ресурсов, выходе из строя различных элементов системы (как индустриального, так и технологического характера), а также возможность управления в нормальных условиях и в нештатных ситуациях.

Если для одного из режимов исследуемый вариант не удовлетворяет технико-экономическим показателям, его корректируют, что позволяет изменить некоторые параметры, иногда за счет принятия специальных мер: резервирования статической работы несущих элементов или средств комплексной механизации и введения организационно-технологического процесса в заданный для данного режима диапазон.

Анализ различных вариантов организационно-технологических решений по возведению объектов на предыдущих этапах проектирования и детализированных во время предыдущих этапов, дает возможность окончательно выбрать рациональный вариант.

Модификация или совершенствование организационно-технологических решений непосредственно в процессе строительства сводится к проектированию при частично заданной структуре ряда параметров. Обе эти задачи решают на базе математической модели организационно-технологического процесса в установившемся режиме.

Задача оперативного управления организационно-технологическим процессом возведения систем энергоснабжения машиностроительных заводов заключается в том, чтобы с помощью изменения структуры и параметров в управляемых подсистемах компенсировать их изменение в общей системе. Это необходимо делать, минимизируя некоторый функционал потерь в энергетическом, стоимостном и надежностном выражении при соблюдении соответствующей стоимости ограничений.

Структура процесса оперативного управления ходом организационно-технологического процесса возведения объектов представлена на рис.1 в виде двух основных этапов или уровней управления: 1) оперативное планирование с учетом превалирующего влияния некоторого критерия на данный плановый период (стоимость, трудоемкость, продолжительность строительства и др.); 2) стабилизация всех или хотя бы некоторых фазовых координат объекта (монтажная устойчивость и др.), обеспечивающая минимум дисперсии этих факторов относительно плановых или расчетных показателей.

Решение задач на каждом из этих уровней, как правило, разнесено во времени и пространстве, требует различного объема и характера оперативной информации, математических моделей, описывающих подсистемы организационно-технологического процесса, различных критериев и методов управления. При дискретном принципе управления процесс принятия решения в текущий момент времени на каждом из этих уровней может быть в свою очередь представлен в виде пяти этапов или уровней управления:

Рис.1 – Структура процесса оперативного управления ходом организационно-технологического процесса возведения

1. Сбор и обработка организационно-технологической информации. На этом этапе определяются параметры, характеризующие производственные условия, а также текущие значения фазовых координат организационно-технологического процесса, т.е. происходит сбор, хранение и оптимальная фильтрация технологической информации, необходимой для более высокого уровня управления.

2. Прогнозирование изменения производственных условий. Проявляется в изменении конструктивных расчетных схем, методов обеспечения монтажной устойчивости, последовательности монтажа, особенностей сварки, транспортирования и др., а также параметров и стохастической структуры организационно-технологических процессов. На данном этапе решаются задачи грубой и точной интенсификации оценок параметров математических моделей, проверки их адекватности и прогнозирования будущих значений этих процессов. Вычисляют также дисперсию прогнозов и доверительные области возможных зна-

чений реализации процессов возведения в будущие моменты времени при заданном уровне значимости, а при прогнозировании организационно-технологических решений учитывают планы более высоких уровней управления.

3. Прогнозирование значений фазовых координат организационно-технологического процесса в будущие моменты времени и представление управляющих переменных в новом состоянии. На этом этапе производятся: идентификация, грубая и томная оценка параметров математических моделей, проверка их адекватности, прогнозирование фазовых координат организационно-технологического процесса при заданных оценках производственного состояния, а также расчет управляемых переменных, соответствующих этим значениям. Если для оперативного планирования, адекватной является модель установившегося организационно-технологического процесса, то для стабилизации их фазовых координат удается построить только в классе динамических задач. А построение и математическая постановка в рамках классической теории управления приводит к серьезным математическим проблемам и практически не позволяет получить решения. Анализ специфических свойств организационно-технологических решений дает возможность найти эффективные способы упрощения динамических моделей рассматриваемых систем и синтезировать реализуемое управление ходом организационно-технологического процесса.

Оперативное планирование удается, как правило, свести к схемам динамического программирования. Неопределенность оценок прогнозов изменения производственных условий учитывают путем проверки полученных результатов на устойчивость и возможность стабилизации. Если малые вариации параметров производственных условий, приводят к необходимости недопустимого изменения структуры средств комплексной механизации или конструктивных схем на период возведения решение считают неудовлетворительным и ищут новое решение относительно управляемых переменных.

4. Расчет траектории перевода состояния организационно-технологического процесса возведения систем энергоснабжения машиностроительных предприятий, их объектов и комплексов из одного состояния в другое с учетом ограничений на характер переходных процессов. Если динамика организационно-технологического процесса известна, данная задача может быть сведена к оптимизационной. Если известны только некоторые оценки динамики переходных процессов, расчет траектории осуществляется в виде «последовательности стационарных состояний» путем приращения шага по каждой управляемой переменной и время выдержки для выдачи их нового приращения.

5. Вычисление расчетной траектории. Неопределенность исходных данных для организации управления на всех предыдущих этапах может привести к значительному отличию фактической траектории фазовых координат от расчетной. Поэтому при автоматизации управления организационно-технологическими процессами подразумевается, что задачи пятого управления решает оператор системы.

Так как предполагается присутствие человека в контуре управления системой этот процесс будем рассматривать как последовательность действий лица, принимающего решение (ЛПР). В свою очередь, принятию финального решения предшествует своя последовательность (этап проектирования или оперативного управления). Это является следствием необходимости управления организационно-технологическими процессами в условиях неопределенности исходной информации, многокритериальности, сложности формализации критериев и (в некоторых случаях просто невозможности) оценки эффективности принятого решения и его последствий. Для конкретного проектирования и оперативного управления используют большое число «количественных» методов, которые помогают ЛПР выбрать наилучший вариант. Чтобы облегчить количественные исследования, данные методы базируются, как правило, на крайне упрощенных допущениях, часто неадекватно отражающих систему ценностей и склонность к риску реальных ЛПР. Это приводит к тому, что, если автоматизированное управление безупречно, указанные неадекватные допущения могут значительно снизить эффективность функционирования организационно-технологического процесса.

Повысить ее возможно только при использовании диалоговых режимов работы ЛПР, ЭВМ и человеко-машинных процедур, типа метода Франко-Вольфа.

При принятии решений не все факторы или переменные, описывающие ситуацию, играют одинаковую роль. Ряд переменных может изменяться лицом, принимающим решения в желаемом направлении. Это основные переменные, определение оптимальных значений которых и составляет задачу определения эффективности организационно-технологического решения. Значения другой группы переменных, влияющих на эффективность принимаемых решений, не зависят от действий ЛПР. Переменные, входящие в эту группу, могут лишь наблюдаться, с тем, чтобы получаемая информация об их значениях использовалась при принятии решений. Следует выделить также и третью группу переменных, от которых тоже зависит эффективность принимаемых решений, но значения которых либо ненаблюдаемы, либо при построении математической модели ничего неизвестно об этих переменных. Если статистические свойства переменных третьей группы полностью известны (заданы соответствующие плотности распределения), то возможен переход к аналогичной детерминированной задаче. В ином случае единственной возможностью учета этих переменных при принятии решений является наблюдение за поведением целевой функции в процессе оптимизации. Влияние неучтенных переменных будет сказываться на значениях целевой функции, и эта информация может быть использована при поиске эффективного решения в условиях неопределенности. Таким образом, в задачах определения эффективности организационно-технологических решений могут быть выделены следующие три группы переменных:

- вектор переменных, компоненты которого известны и могут принимать значения в зависимости от принимаемых решений, или вектор управляемых и наблюдаемых переменных:
- вектор переменных, компоненты которого известны и могут принимать значения, не зависящие от принимаемых решений, или вектор наблюдаемых, но неуправляемых переменных;
- вектор переменных, компоненты которого не известны и не зависимы от принимаемых решений, или вектор ненаблюдаемых и неуправляемых переменных.

Может быть выделена и четвертая группа переменных, являющихся неосуществимыми в процессе принятия решений. Следует заметить, что любая классификация переменных в значительной мере условна. Неуправляемые переменные могут стать управляемыми, если раздвинуть рамки решаемой задачи.

Определение переменных, выделение контролируемых и управляемых переменных – очень важный этап в постановке задачи, во многом определяющий эффективность принимаемых решений.

Задача выбора эффективных организационно-технологических решений не может считаться полностью сформулированной, если не определено множество вариантов, подлежащих рассмотрению в процессе поиска эффективного решения.

Пусть X – вектор переменных, описывающих ситуацию и определяющих эффективность рассматриваемых вариантов. Задача поиска эффективных решений состоит в определении таких значений вектора $X = \{X_1, .X_2 ... X_N\}$, при которых целевая функция $F(x)$ принимает минимальное значение (при требовании максимума заданной целевой функции следует изменить знак выражения представленного в виде (1)) и вектор X принадлежит множеству G допустимых значений. Описанная задача оптимизации может быть представлена в виде:

$$min_x F(x) \tag{1}$$

$$\text{при } x \in G\ . \tag{2}$$

Целевая функция $F(x)$ является математическим выражением эффективности различных вариантов, принимаемый вариант определяется значением вектора X, а множество рассматриваемых при принятии решения вариантов задается множеством G. Множество G называется множеством допустимых значений вектора переменных X. В множество G включаются лишь те значения вектора X, которые удовлетворяют некоторым условиям или ограничениям.

Прежде всего, наличие ограничений связано с физической сущностью оптимизируемых процессов. Иными по своей сути являются ограничения, вводимые для того, чтобы не допустить принятия решения, по тем или иным соображениям для нас неприемлемого.

Если ограничения, связанные с законами природы, принципиально не могут не выполняться, то другой вид ограничений часто может быть перенесен в целевую функцию, что приводит к появлению дополнительных целей при принятии решений. Такая возможность обусловлена тем, что нарушение ограничений второго вида приводит к дополнительным потерям, затратам, штрафам, которые могут быть учтены в критерии.

Общим способом построения ограничений является использование при формировании задачи оптимизации системы неравенств или равенств, которым должны удовлетворять переменные в процессе поиска эффективного решения. Простейшим видом ограничений является непосредственное указание допустимых значений для каждой из переменных. В общем случае в ограничениях участвуют функциональные зависимости, связывающие значения различных переменных.

Пусть при построении множества вариантов, подлежащих рассмотрению при принятии решений, введено K ограничений в виде равенств $h_k\ (x)=0$, $k=1,...,k$ и L ограничений в виде неравенств $g_l(x)\geq 0$, $l=1,...,L$. Тогда задача оптимизации (1)-(2) может быть представлена в виде:

$$min_x F(x)$$

$$\text{при } h_k(x)=0,\ k=1,...,K,$$

$$g_l(x) \geq 0,\ l=1,...,L.$$

Вектор переменных X должен удовлетворять каждому из ограничений, определяющему подмножество или некоторую область допустимых решений. Пересечение этих подмножеств образует множество допустимых решений, которые определяются теми решениями, которые входят в каждую из областей допустимых решений.

Возможны случаи, когда множество допустимых решений пусто, т.е. не существует ни одного решения, удовлетворяющего всем ограничениям. Такие ограничения называются несовместными. Физический смысл несовместности системы ограничений часто состоит в том, что при использовании выделенных ресурсов оказывается невозможным обеспечить выполнение поставленных целей. В случае несовместных ограничений задача оптимизации не имеет решений. Необходимо пересмотреть формулировку задачи, что может выражаться либо в ослаблении ограничений (например, выделении большего количества ресурсов), либо в введении дополнительных управлений (например, в использовании дополнительных источников ресурсов).

На начальных этапах процесса принятия решений определяются цели, выполнение которых должно являться основой при отборе вариантов, причем формулирование целей производится на неформальном уровне.

В простейшем случае такая цель является единственной. Чаще встречаются более сложные ситуации, когда существует несколько самостоятельных целей, некоторые из которых могут быть противоречивыми. Случай противоречивых целей не является исключительным, а наоборот, представляется типичным. Это связано с обычным при принятии решений желании получить наилучшие результаты при наименьших затратах, для достижения таких результатов системы более высокого уровня формулирующие цели перед системами низшего уровня, поступают следующим образом, ограничивают «снизу» объем и качество производимой продукции, а «сверху» величину выделяемых ресурсов.

При принятии решений ЛПР оказывается перед проблемой выбора в условиях противоречивых целей и ограниченных ресурсов.

Построение количественных оценок различных вариантов решений – довольно сложная задача. Однако получение процедуры определения критерия эффективности $F(x)$ для любого из рассматриваемых вариантов является принципиально необходимым для корректной формулировки задачи оптимизации. Если имеется j=1,...,S целей и по каждой из них получено выражение функции цели $F_j(x)$, то сравнение вариантов X_1 и X_2, и выбор наилучшего могут быть проведены лишь в случае, когда для всех j=1,...,S оказывается $F_j(x_1) \leq F_j(x_2)$, т.е. когда один вариант по всем показателям превосходит другой. Однако практически такие случаи при сравнении всех рассматриваемых вариантов встречаются чрезвычайно редко. Поэтому необходимы подходы, позволяющие от множества критериев $F_j(x)$, $j=1,...,S$ перейти к единому критерию $F(x)$. Рассмотрим различные варианты такого перехода.

Возможно построение единого критерия путем суммирования частных критериев с определенными весами λ_j

$$F(x)=\sum_{j=1}^{S}\lambda_j F_j(x). \tag{3}$$

Понятно, что, написав выражение (3), все трудности, возникающие при построении единого критерия, перекладываются на выбор весовых коэффициентов λ_j. Иногда λ_j удается определить из экономических соображений.

Другим подходом к построению единого критерия является анализ ситуации с целью выбора частного критерия для использования его в данной ситуации. При этом подходе вводится функция $\varphi(x)$, которая может принимать значения $1,...,S$ и тогда $F(x) = F_j(x)$, где

$$j = \varphi(x). \tag{4}$$

Частным случаем такого подхода является минимаксный критерий:

$$F(x) = \max F_j(x). \tag{5}$$

Выражение (5) может быть получено из (4) при $\varphi(x)=j$, при котором достигается $\max F_j(x)$. Если выражение (3) обобщить в том плане, что веса являются функциями переменных $\lambda_j=\lambda_j(x)$, то критерий (4) может рассматриваться как частный случай (3) при

$$\lambda_j(x)=\begin{cases}1 \text{ при } j=\varphi(x),\\ 0 \text{ при } j\neq\varphi(x)\end{cases}.$$

Таким образом, общим способом построения единого критерия является суммирование частных критериев с использованием весов, зависящих от значения переменных:

$$F(x)=\sum_{j=1}^{S}\lambda_j F_j(x).$$

В частных случаях, когда критерии могут принимать лишь значения 0 или 1, возможны другие способы построения единого критерия. Заметим, что эти частные случаи достаточно широко распространены.

Одним из приемов в таких частных случаях является построение «бескомпромиссного» критерия:

$$F(x)=\begin{cases}1, \text{ если } F_j(x)=0,\ j\in 1,\ldots,S,\\ 0 \text{ в противном случае,}\end{cases}$$

т.е. когда решение с точки зрения всех частных критериев является удовлетворительным, тогда и общий критерий показывает удовлетворительность решения. Если решение удовлетворительно $F_j(x)=0$, $j=1,\ldots,S$ и $F_j(x)=1$ в противном случае.

Возможно также построение иерархии критериев, когда вводится упорядочение частных критериев в соответствии с их важностью, например, наиболее важному критерию соответствует номер один, а наименее важному – номер S. Такое упорядочение порождает последовательность задач оптимизации по одному критерию. Вначале решается задача по критерию $F_j(x)$. Если решение существует, то решается задача по критерию $F(x)$ при дополнительном ограничении $F(x)=0$. Далее номер используемого частного критерия увеличивается вместе с увеличением числа дополнительных ограничений. Процесс оптимизации завершается либо решением задачи при $F(x)=F_S(x)$ и (s-1)-м дополнительном ограничении $F_j(x)=0$, $j=1,\ldots,s\text{-}1$, либо при невозможности решения задачи на каком-либо из произвольных шагов. Тогда в качестве оптимального берется последнее полученное решение, оптимальное по наиболее важным критериям.

Следует отметить, что получение оптимального решения по критерию $F(x)$, принимающему значения 0 и 1, эквивалентно получению допустимого решения при дополнительном ограничении $F(x)=0$.

Классификация и сравнительный анализ задач выбора эффективных решений и методов их решения является очень сложной задачей, так как существует большое количество принципов, по которым они могут быть приведены. Пусть некоторая ситуация характеризуется вектором или вектор-функцией входных и возмущающих воздействий Y и управлений X. Все множество задач выбора эффективных решений можно разбить на два класса:

1. Задачи программного управления, в которых для каждого значения вектора (вектор-функции) Y необходимо определить вектор (вектор-функцию) X, обеспечивающий поддержание системы в заданной области ограничений и доставляющий экстремальное значение некоторому функционалу.

2. Задачами синтеза, в которых необходимо определить оптимальный вид зависимости $x=\varphi(y)$, позволяющей для каждого конкретного значения Y по простому алгоритму (не прибегая к решению

экстремальной задачи) определить оптимальные значения управляющего воздействия.

Для практических приложений задачи синтеза являются более важными, однако они чрезвычайно сложны с вычислительной точки зрения, и эффективные методы решения их могут быть получены только в некоторых частных случаях.

Как задачи синтеза, так и задачи программного управления могут иметь один или несколько функционалов, характеризующих эффективность решения. В зависимости от этого все множество моделей экстремальных задач может быть разбито на задачи однокритериальной и многокритериальной оптимизации (компромиссные задачи). Следует заметить, что задачи многокритериальной оптимизации, введением нового функционала, характеризующего оптимальный компромисс между различными критериями оптимальности, могут быть сведены к решению задачи с одним критерием оптимальности.

Все задачи принятия решений могут быть разделены на детерминированные и стохастические. В детерминированных задачах функционал, подлежащий оптимизации, и функция ограничений зависят детерминированно (не случайным образом) от входов и управлений, т.е. существует алгоритм, позволяющий при фиксированном значении входа и фиксированном значении управления вычислить значения критерия оптимальности и проверить выполнение системы ограничений с любой сколь угодно высокой точностью. Стохастическими называют такие задачи, в которых критерий оптимальности и функции ограничений являются числовыми характеристиками (математическим ожиданием, дисперсией) случайной функции параметров задачи, и значения их, вычисленные для фиксированных значений X и Y зависят от конкретных реализаций этих случайных функций. Стохастический характер задачи более точно отражает ее содержательную постановку, так как в реальной жизни оптимизационные задачи решаются, как правило, в условиях помех, вызванных неадекватностью математической модели задачи, ошибками измерений и др.

Однако, существующие в настоящее время методы решения стохастических задач менее эффективны, чем детерминированных, и поэтому реальную стохастическую задачу, как правило, заменяют детерминированной, ставя ей в соответствие некоторый детерминированный эквивалент. Это в ряде случаев позволяет получить решения более эффективные, чем при оптимизации по конкретным реализациям случайного процесса, хотя для значительного числа прикладных задач эти методы находят все большее и большее применение.

В зависимости от вида математической модели задачи и характера входов и управлений (вектор или вектор-функция) оптимизационные задачи делятся на задачи математического программирования, в которых необходимо определить некоторый вектор управляющих воздействий или функцию, определенную с точностью до неизвестных параметров либо с помощью координат дискретных точек, и задачи оптимального управления, в которых необходимо определить вектор-функцию управляющих воздействий, и математическая модель задачи может представлять собой систему интегро-дифференциальных уравнений.

Задачи математического программирования можно разделить на две группы: задачи дискретного программирования, в которых область определения задачи представляет собой некоторое конечное множество и непрерывные задачи математического программирования вида

$$f\left(x^*\right)=\min f\left(x\right)x\in G, G=\left|x\right|g_j\left(x\right)=0,\ j=1,...m_1,\ x\in G,$$

$$g_j\left(x\right)\subset 0,\ j=m_1+1,...,m;\ x_i\geq 0\ \ i=1,...,n,$$

в которых $f(x)$ и $g_j(x)$, $j=1,...,m$ — некоторые функции вектора X, каждая из компонент которого может принимать бесконечное множество значений.

Классификация экстремальных задач по математической сути задач, виду критериев оптимальности управляющих воздействий и характеру ограничений задачи приведена на рис.2. На рис.3 приведена классификация задач математического программирования (непрерывных) с вычислительной точки зрения. Выделенные на схеме свойства оптимизационных задач играют большую роль при выборе методов их решения. Все свойства задач математического программирования, отмеченные на схеме (рис.3) выясняются на практике из содержательной постановки задачи.

Несколько подробнее остановимся на свойствах овражности функции и переменных. Поверхности уровня функции $f(x)$ (множество точек, в которых функция имеет одинаковое значение), имеющие вид $Fc=\{x=(x_i),\ i\in G,\ f(x)=c\}$, являются замкнутыми и выпуклыми.

Пусть X^* – точка экстремума, а L_c и l_c – максимальное и минимальное расстояния от точки X^* до линии уровня. Назовем локальным коэффициентом овражности поверхности уровня Fc величину $r=l_c/L_c$, а величину $r=\lim\limits_{i\to 0}\sup\limits_{c\leq i} r_c$ – коэффициентом овражности функции.

Если $r > R$, то функция считается овражной, т.е. в окрестности X

функция $f(x)$ по одной группе переменных x_i, $i \in L$ изменяется быстро, а по другой группе переменных медленно. Если «дно оврага» вытянуто вдоль некоторой прямой в n-мерном пространстве, то такие овраги назовем одномерными. Если «дно оврага» представляет собой некоторую поверхность (линейную или нелинейную), то такие овраги называют многомерными.

Рис. 2 – Классификация экстремальных задач по математической сути задачи, виду критериев оптимальности, управляющих воздействий и характеру ограничений

Выбор метода решения задач оптимизации в значительной мере определяется теми особенностями задач математического программирования, которые выделены на рис.3.

Классификация методов решения задач математического программирования приведена на рис.4. Все методы решения задачи нелинейного программирования могут быть разделены на прямые и непрямые. Построение непрямых методов основано на использовании необходимых и достаточных условий экстремума и сводится к численному решению систем нелинейных алгебраических уравнений с целью определения всех точек возможных экстремумов, а затем определения глобального экстремума сравнением значений функции в этих точках.

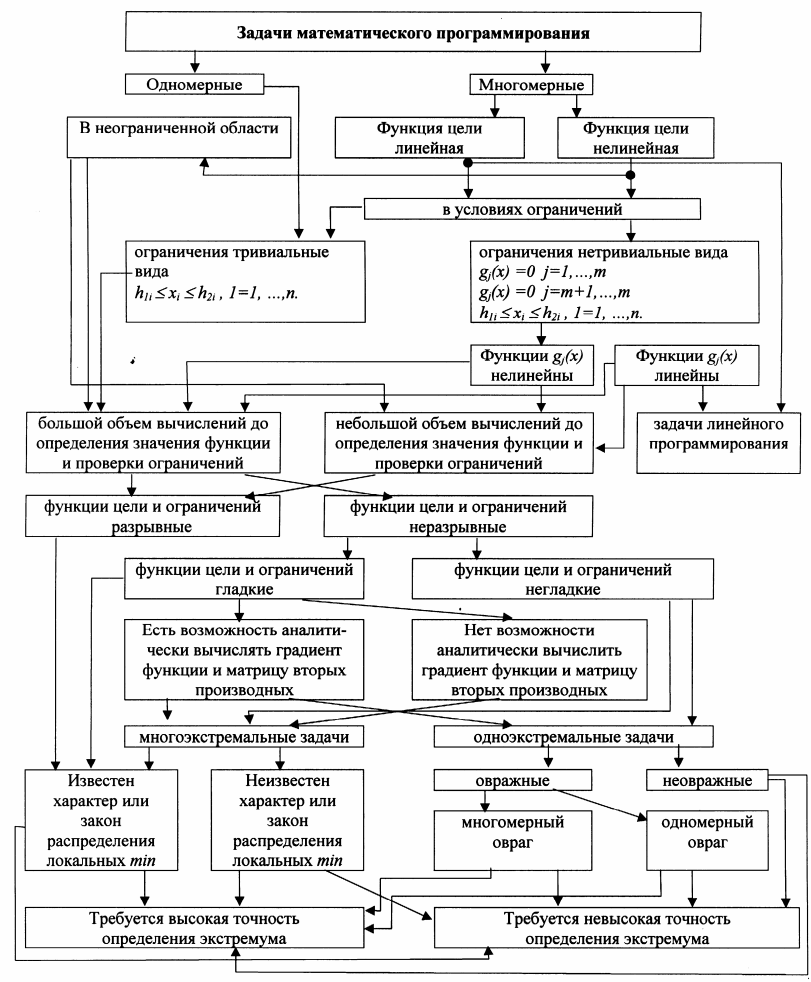

Рис.3 – Классификация непрерывных задач математического программирования с вычислительной точки зрения

Используемые при этом алгоритмы решения нелинейных систем, как правило, являются более сложными, чем методы решения исходной задачи, и поэтому применение на практике этих методов ограничено лишь некоторыми частными случаями.

Прямые методы решения задачи носят поисковый характер. В них строится некоторая непрерывная гладкая (в методах непрерывного спуска) или кусочно-линейная траектория $X(t)$ (в итеративных конечно-шаговых методах) из начальной точки X° в точку X^{m}, являющуюся результатом решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений $\Delta f_t(x)=0$, $t=1,...,n$ аналитическими или конечно-розыскными методами.

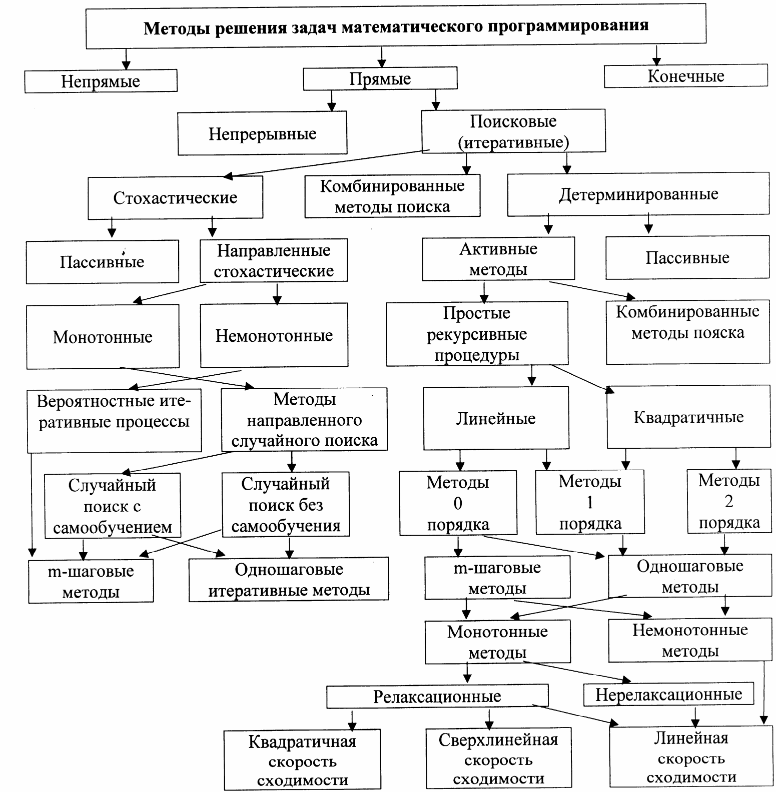

Рис.4 – Классификация методов решения задач математического программирования

Большинство применяемых на практике методов решения задач нелинейного программирования являются итеративными. В них строится последовательность приближений X^0, X^1,…,x^k, сходящихся к точке минимума, т.е.

$$\lim_{k \to m} x^k = x^m.$$

В некоторых частных случаях (минимизация выпуклой квадратичной функции, задача линейного программирования) такие итеративные методы позволяют получить точное решение задачи за конечное число шагов (являются точными методами). В ряде методов строится не последовательность точек, а последовательность вложенных областей, которым принадлежит точка минимума.

Если метод поиска такой, что траектория (последовательность точек или вложенных областей) полностью определяется выбором начальной точки X^0 и жестким (без элементов случайности) алгоритмом решения, то такой метод поиска назовем детерминированным. Если траектория движения из X^0 в точку минимума X^m определяется еще и реализациями некоторого случайного процесса, которые определяют стратегию поиска, то такой метод считаем стохастическим. Две последовательные траектории движения из одной и той же начальной точки X^0 в точку минимума X^m для стохастических методов поиска будут различными, а для детерминированных методов совпадут. Заметим, что хаотические методы поиска могут примениться для решения как стохастических, так и детерминированных задач

Стохастические методы, в которых выбор пробных и рабочих шагов осуществляется в случайном направлении в зависимости от реализации некоторого случайного процесса, назовем методами случайного поиска. Алгоритмы, в которых движение происходит в направлении некоторой случайной реализации градиента минимизируемой функции, подверженной влиянию помех, либо по направлению статистической оценки градиента, назовем вероятностными итеративными процессами. В настоящее время разработаны алгоритмы, которые сочетают в себе свойства детерминированных и стохастических методов.

Все итеративные методы поиска могут быть разделены на направленные методы и ненаправленные (пассивные или непоследовательные) в зависимости от того, является ли стратегия поиска функцией от значения $f(x)$ в ранее полученных точках траектории. Непоследовательным (пассивным) поиском называется поиск, в котором значения функции определяются в множестве точек (детерминированном или случайном), которое не зависит от результатов предыдущих испытаний, а задается по заранее выбранной программе. Эти методы позволяют получить оптимальное значение функции с определенной наперед заданной точностью. В последовательных методах поиска при построении очередной итерации используются предыдущие точки процесса. Эти методы значительно эффективнее первых с вычислительной точки зрения и позволяют при неограниченном продолжении процесса счета получить высокую точность. Остановимся на последовательных алгоритмах оптимизации.

Назовем методы простыми рекурсивными процедурами, если алгоритм определения новой точки процесса не меняется от итерации к итерации, и комбинированными – если этот алгоритм может изменяться в ходе вычислений.

Итерационный процесс последовательного (активного) поиска называется m-шаговым, если при построении очередной итерации используются m предыдущих:

$$X^k = F^k\,(X^{k-1}, f(X^{k-1});\, X^{k-2}, f(X^{k-2}); \ldots X^{k-m}, f(X^{k-m})),$$

где F^k – векторная функция k-го шага.

Если m=1, то итеративный процесс поиска называется одношаговым. Большинство рассматриваемых нами итеративных процессов являются одношаговыми. Однако имеются и двухшаговые и m-шаговые итеративные процессы.

Итеративные методы оптимизации называются монотонными если значение целевой функции от итерации к итерации монотонно возрастает или убывает. В отличие от немонотонных методов, в которых не происходит монотонного убывания (возрастания) целевой функции с каждым шагом, они получили наибольшее распространение в практике вычислений.

Детерминированные последовательные методы различаются также в зависимости от метода аппроксимации функции в окрестности каждой точки итеративного процесса.

Итеративный метод являете линейным, если принята локальная аппроксимация функции в окрестности точки линейными полиномами, или квадратичным, если используется квадратичная локальная аппроксимация функций.

Методы минимизации функций различаются так же наивысшим порядком производных функции $f(x)$, участвующих в вычислениях. По этому признаку все методы минимизации можно разделить на методы нулевого порядка, в которых используется лишь значение функции, методы 1-го порядка (градиентные), в которых используется значение функции и векторов производных, и методы 2-го порядка, в которых требуется вычислять значения матрицы вторых производных. Методы более высоких порядков при решении многомерных задач обычно не применяются.

Процесс вычислений в итеративных методах ведется до тех пор, пока точка X^k не станет в некотором смысле близкой к экстремальной точке X^m. В качестве меры близости могут использоваться следующие оценки:

а) норма отклонения вектора X^k от значения X^m

$$\delta_{1x}^{m} = \left\| x^m - x^k \right\| = \sum_{i=1}^{n} \left(x_i{}^m - x_i^k \right)^2$$

или

$$\delta_{2x}^{m} = \max \left| x_i{}^m - x_i^k \right| ;$$

б) отклонение значений функции в k-й и экстремальной точке

$$\delta_f^m = \left| f\left(x^m\right) - f\left(x^k\right) \right| ;$$

в) норма градиента функции в точке X^k (известно, что в случае минимизации функции в пространстве E^n градиент функции в точке X^m равен 0, поэтому эта оценка может иметь место только в случае решения задач на безусловный экстремум):

$$\delta_\nabla^1 f = \left\| \nabla f\left(x^k\right) \right\| = \sum_{i=1}^{n} \left(\nabla f_i\left(x^k\right) \right)^2$$

или

$$\delta_\nabla^2 f = \max_i \left| \nabla f_i\left(x^k\right) \right| .$$

Так как в ходе вычислений обычно значения X^m и $f(x^m)$ неизвестны, то на практике оценки «а» и «б» заменяются оценками:

г) $\delta_{1x}\left(x^k\right) = \left\| x^k - x^{k+1} \right\|$, $\delta_{2x}\left(x^k\right) = \max \left| x_i{}^k - x_i^{k+1} \right|$;

д) $\delta f\left(x^k\right) = \left| f\left(x^{k+1}\right) - f\left(x^k\right) \right|$.

Вычисления прекращаются, когда одна из оценок «а»-«д» станет меньше некоторой величины.

На практике часто пользуются либо сразу всеми оценками и прекращают поиск, когда

$$\delta_{1x}\left(x^k\right) \le \varepsilon_1, \quad \delta \ f\left(x^k\right) \le \varepsilon_2, \ \delta_\nabla f \le \varepsilon_3,$$

где ε_1, ε_2, ε_3 – заданные точности определения X^m, либо одной из них наиболее важной для данной задачи. В немонотонных методах оценками «г» и «д» пользоваться нецелесообразно. В этом случае критерий остановки может строиться в зависимости от количества выполненных шагов процесса, либо по некоторой сглаженной оценке «г»-«д».

Основными критериями сравнения различных методов оптимизации могут служить объем вычислений, необходимый для получения решения с заданной точностью, область сходимости метода, предельная точность получения результата, объем памяти, который требуется для реализации метода, устойчивость по отношению к погрешностям, сложность программирования и др.

Объем вычислений, необходимый для получения решения с заданной точностью, который является важнейшей характеристикой метода, определяется количеством итераций и трудоемкостью вычислений на каждой итерации. Последняя величина в значительной степени зависит от количества вычислений значения функции (под значением функции в данном случае следует понимать значения $f(x^k)$ каждого из элементов вектора-градиента $\nabla f_i(x^k)$ и матрицы вторых производных $f_{ij}(x^k)$, $i,j=1,\ldots,n$ и объема вычислений для определения направления движения на каждом шаге.

Количество итераций, необходимых для получения решения с заданной точностью, определяется скоростью сходимости итерационного процесса, которая характеризует, как убывает погрешность определения X^m от одной итерации к другой, для одноточечных итеративных процессов $x^{k+1}=\Phi(x^k)$, если имеет место факт сходимости, т.е.

$$\lim_{k\to\infty}\left\|x^k - x^m\right\| = 0$$

скорость сходимости определяется согласно выражению

$$\left\|x^{k+1} - x^m\right\| \le q\left\|x^k - x^m\right\|^t,$$

где $t = \lim\limits_{k\to\infty} \dfrac{\ln\left\|x^{k+1} - x^m\right\|}{\ln\left\|x^k - x^m\right\|}$ – порядок итеративного процесса, который характеризует закон убывания погрешности (линейная или геометрическая прогрессия t=1, квадратичная t=2, сверхлинейная $1<t<2$) и определяется методом оптимизации; q – знаменатель, который зависит от свойств оптимизируемой функции (ее коэффициентов овражности).

Для многоточечных итеративных процессов вида

$$X^{k+1} = \Phi\,(X^k, X^{k-1},\ldots,X^{k-m}),$$

которые определяются $(m+1)$-ми предыдущими итерациями, скорость сходимости определяется согласно выражению

$$\left\|x^{k+1} - x^m\right\| \le q\prod_{j=0}^{m}\left\|x^{k-j} - x^m\right\|^{\tau_j},\ \ \tau_j \ge 0,\ \ j = 1,\ldots,m.$$

Для сходящихся многоточечных процессов необходимо, чтобы

$$\sum_{j=0}^{m} \tau_j = \tau > 1.$$

Порядок скорости сходимости многоточечных итеративных процессов равен $t \geq r$, где r – корень нелинейного уравнения вида

$$r^{m+1} - \sum_{t=0}^{m} \tau_j r^{m-j} = 0.$$

Согласно правилу Декарта, данное уравнение имеет всего один положительный корень, который находится в интервале $1 \leq r \leq 2$. Значит, скорость многоточечного итеративного процесса всегда больше единицы (при $m \to \infty$, $r \to 2$). Для двухточечных итеративных процессов (m=1) при τ_j=1, j=1,2... скорость сходимости определяется в результате решения следующего квадратичного уравнения: $r^2 - r - 1 = 0$ и равна $t \geq \frac{1+\sqrt{5}}{2}$.

Следовательно, даже двухточечные процессы обеспечивают сверхлинейную скорость сходимости. Особую группу составляют методы, обеспечивающие получение результата за конечное число шагов.

Объем памяти, необходимый для реализации метода, определяется составом и количеством информации используемой на каждой итерации для определения направления движения и величины шага в данном направлении. Область сходимости метода накладывает ограничения на выбор начальных приближений, определяет его чувствительность к ошибкам округления и точности выполнения отдельных этапов.

1.Атанавичус К.А. Моделирование и оптимизация в управлении строительством. – М.: Стройиздат, 1979. – 116 с.

2.Блоховяк З. Анализ выбора оптимальных методов в строительстве: Пер. с польск. – М.: Стройиздат, 1966. – 108 с.

3.Жуков А.А.Оптимизация технологии и организации строительства. – К.: Будівельник, 1977. – 164 с.

4.Зак Ю.А., Рейдлин Р.М., Рувинский А.А. Методы оптимизации и применение их в целлюлозно-бумажной промышленности. – М.: Лесная промышленность, 1973. – 82 с.

5.Рувинский А.А., Зак Ю.А., Рейдлин Р.М. Математические модели и алгоритмы в системах управления картонно-бумажным производством. – М.: Лесная промышленность, 1971. – 126 с.

6.Рыбальский В. И. Кибернетика в строительстве. – К.: Будівельник, 1975. – 232 с.

7.Торкатюк В.И. Организационно-технологические решения в многоэтажном каркасном строительстве. – Харьков: Вища школа, 1986. – 160 с.

8.Бутник С.В. Анализ и выбор критериев эффективности проектных решений в строительстве // Науковий вісник будівництва: Зб. наук. праць. Вип.2. – Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 1998. – С.16-24.

9.Торкатюк В.И., Бутник С.В., Марюхин В.Н., Петухова Е.Н. Методы и особенности оценки эффективности перспективного развития конструктивных сооружений // Традиції та новації у вищій архітектурно-художній освіті. Вип.6. – Харків: ХХПІ, 1997. – С.107-108.

Получено 31.03.2005

УДК 658.012 : 628.16

А.И.ВАСИЛЬЕВ, канд. экон. наук
Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «ХАИ»
Н.Н.ВЛАЩЕНКО, А.Л.ДАНИЛЕНКО,
И.Л.ЖЕЛЕЗНЯКОВА, С.А.ЯВДОШЕНКО
Харьковская национальная академия городского хозяйства

ФОРМИРОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТОЙЧИВОГО ВОДООБЕСПЕЧЕНИЯ ГОРОДОВ

Рассматриваются современные проблемы устойчивого развития городов, требующие эффективного функционирования его отдельных инфраструктур, например, системы водоснабжения, так как без воды, в первую очередь, не может существовать жизнь и, с другой стороны, большинство функциональных и технологических процессов осуществляется также с использованием водных ресурсов.

Современное состояние урбанизированных городских систем и анализ существующих точек зрения относительно определения социальных и экономических результатов в планировании городов предопределило необходимость более общего подхода, который состоит в многокритериальной постановке задачи управления взаимодействием сложного комплекса объектов инфраструктуры города, одним из основных направлений которого является эффективность управления водопользованием в урбанизированных городских системах.

Разработка методологических основ научного обоснования процесса формирования и функционирования производственных отношений в сфере водной деятельности, как системы экологических категорий позволит эффективно управлять городским водопользованием в современных условиях становления рыночной экономики в Украине. Практика водопользования свидетельствует, что указанная проблема является весьма актуальной: она во многом определяет стратегию исследований в области формирования систем экономического использования водных ресурсов.

В связи с этим сегодня назрела необходимость разработки меха-